



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93445 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
F01K 23/10
F01K 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) НАДПРОВІДНИКОВА ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА І СПОСІБ ЇЇ РОБОТИ

1

2

(21) а200908071

(22) 31.07.2009

(24) 10.02.2011

(46) 10.02.2011, Бюл.№ 3, 2011 р.

(72) БОЛЮХ ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ, СТАНКЕВИЧ АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ, КРАВЕЦЬ АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, РОСС ДЖОН БІТТІ, СА

(73) БОЛЮХ ВОЛОДИМИР ФЕДОРОВИЧ, СТАНКЕВИЧ АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ, КРАВЕЦЬ АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, РОСС ДЖОН БІТТІ, СА

(56) RU 2041363 C1, 09.08.1995

RU 2121746 C1, 10.11.1998

SU 1795128 A1, 15.02.1993

US 3508090 A, 21.04.1970

SU 1151695 A1, 23.04.1985

RU 46046 U1, 10.06.2005

SU 596726 A1, 05.03.1878

SU 1298409 A1, 23.03.1987

(57) 1. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка, яка містить теплофікаційну турбіну, обертаючу турбогенератор, мережний підігрівач з прямою і зворотною магістралями мережної води, конденсатор, на який подається відпрацьована пара турбіни, охолоджуваний циркуляційним теплоносієм, тепловий акумулятор і контур низько киплячої речовини, яка **відрізняється** тим, що як низькокипляча речовина використовується криогенний холодоагент, до виконаного надпровідниковим турбогенератора електрично підключені надпровідникові мережний трансформатор з обмежувачем струму короткого замикання, надпровідниковий індуктивний накопичувач енергії через перетворювач струму з режимами роботи "випрямлення/інвертування", що перемикається за сигналом датчика потужності електричної мережі, надпровідникові трансформатор власних потреб з обмежувачем струму короткого замикання, до яких через шину власних потреб підключено електропривод вакуумних насосів енергетичної установки і електропривод криогенного зріджувача енергетичної установки, при цьому електричні з'єднання між згаданими надпровідниковими електротехнічними пристроями виконані за допомогою надпровідникового кабелю, а температура криогенного холодоагенту нижче критичної температури надпровідникового матеріалу струмоведучих елементів

надпровідникових електротехнічних пристроїв, причому електропривод вакуумної системи підключений до насоса, що живить вакуумний колектор, до якого підключені надпровідникові електротехнічні і криогенні пристрої, з криогенним зріджувачем через кріотрубопровід з'єднаний криогенний колектор, до якого підключені надпровідникові електротехнічні пристрої, і ділянка указанного кріотрубопроводу з запірним вентилем оснащена паралельною криогенною магістраллю, в якій розміщений тепловий акумулятор холоду, виконаний у вигляді забезпеченого вхідним і вихідним вентилями кріостата з рідким криогенним холодоагентом, а в контурі циркуляційного теплоносія перед конденсатором встановлений теплообмінник, до якого підключений вихід колектора газоподібного холодоагенту, до якого надходить газоподібний холодоагент з надпровідникових електротехнічних пристроїв з температурою нижче, ніж у циркуляційного теплоносія.

2. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що струмоведучі елементи надпровідникових електротехнічних пристроїв виконані з високотемпературних надпровідникових матеріалів, критична температура яких нижче температури кипіння криогенного холодоагенту, за який використовується рідкий азот.

3. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за пп. 1, 2, яка **відрізняється** тим, що вихід газоподібного криогенного холодоагенту з теплообмінника з'єднаний з газольдером, до виходу якого підключений компресор, що стискає газ у балони високого тиску, вихід з яких з'єднаний зі входом криогенного зріджувача і з газоподібним входом кріостата.

4. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що електропривод вакуумної системи виконаний надпровідниковим.

5. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що електропривод криогенного зріджувача виконаний надпровідниковим.

6. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за п. 1, яка **відрізняється**

(19) UA (11) 93445 (13) C2

тим, що електропривод компресора виконаний надпровідниковим.

7. Надпровідникова електротеплоакумуюча енергетична установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що шина власних потреб енергетичної установки виконана надпровідниковою.

8. Спосіб роботи надпровідникової електротеплоакумуючої енергетичної установки, при якому в період зниження електричного навантаження зменшують потужність турбогенератора, що видає електричну енергію в мережу за рахунок збільшення до максимуму відбору пари від обертаючої його теплофікаційної турбіни, відібрану пару подають на мережний підігрівач, де прокачується вода тепломережі, і теплову енергію накопичують в теплому акумуляторі, а в режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність турбогенератора за рахунок зменшення або відключення теплофікаційного відбору, а накопичену теплову енергію видають з акумулятора, який **відрізняється** тим, що в період зниження електричного навантаження збільшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом запуску електроприводів вакуумних насосів установки, забезпечуючи накопичення вакууму для надпровідникових і криогенних пристроїв, криогенного зріджувача, забез-

печуючи накопичення теплової енергії у вигляді рідкого криогенного холодоагенту у виконаному у вигляді криостата теплому акумуляторі, і компресора, забезпечуючи накопичення відпрацьованого криогенного холодоагенту у вигляді стиснутого газу в балонах високого тиску, переводять перетворювач струму в режим "випрямлення" і накопичують електромагнітну енергію в індуктивному накопичувачі енергії, а в режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність теплофікаційної турбіни шляхом зниження тиску на виході за рахунок зниження температури циркуляційного теплоносія на вході в конденсатор при пропусканні його через теплообмінник, через який проходить газоподібний криогенний холодоагент з колектора газоподібного холодоагенту в газгольдер, зменшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом відключення електроприводів вакуумних насосів установки, криогенного зріджувача і компресора, переводять перетворювач струму у режим "інвертування", видаючи електромагнітну енергію з індуктивного накопичувача енергії в мережу, і випускають рідкий криогенний холодоагент з криостата в криогенний колектор шляхом подачі газоподібного холодоагенту в криостат з балонів високого тиску.

Винахід відноситься до енергетики і може бути використаний в енергетичних установках, що забезпечують електричну і теплову енергію з урахуванням нерівномірного споживання.

Відомий спосіб маневрування тепловим і електричним навантаженнями паротурбінної теплофікаційної енергетичної установки з проміжним перегрівом пари шляхом переведення циліндра високого тиску у безпаровий режим і змінення електричної потужності шляхом змінення ступені відкриття регульовальних клапанів циліндрів високого і середнього тиску і підігріву мережної води парою з відборів турбіни [1].

Недоліком даного способу маневрування тепловим і електричним навантаженнями є недостатня глибина розвантаження теплофікаційної установки і складність теплової схеми для його реалізації.

Відомий спосіб роботи енергетичної установки у маневреному режимі, який включає зниження подачі пари на турбіну, розділення потоку мережного теплоносія у мережних підігрівачах і піковому водогрійному джерелі перед подачею споживачу і акумулювання частини нагрітого мережного теплоносія в гарячому відсіку теплоакумуючої установки в період зниження електричного навантаження енергосистеми і збільшення подачі пари на турбіну, зниження навантаження на пікове водогрійне джерело з подальшим відключенням останнього і змішуванням акумульованої частини теплоносія в період піка електричного навантаження енергосистеми [2]. В якості пікового водогрійного джерела використовують електродний котел. В період зниження електричного навантаження після розділення потоків мережного тепло-

носія частину його нагрівають в електродному котлі, а потім акумулюють в гарячому відсіку теплоакумуючої установки, а в період піка електричного навантаження змішують акумульовану частину мережного теплоносія з залишком мережного теплоносія, нагрітого в мережних підігрівачах.

В цій енергетичній установці під час спеки влітку відбувається підвищення температури циркуляційної води. Внаслідок цього підвищується тиск на вихлопі циліндра низького тиску і зменшується потужність, яка передається від турбіни до генератора. Тому діапазон маневрування електричним навантаженням енергетичною установкою в напрямку збільшення виробництва електроенергії є невисоким.

Найбільш близьким за технічною суттю до рішення, що пропонується, є комбінована енергетична установка і спосіб її роботи [3]. Установка містить теплофікаційну турбіну, мережний підігрівач з прямою і зворотною магістралями мережної води, конденсатор, акумулятор мережної води і контур низько киплячої речовини з випарником і турбіною, при цьому акумулятор мережної води підключений до випарника низько киплячої речовини.

Спосіб роботи даної енергетичної установки полягає у тому, що в період зниження електричного і теплового навантажень збільшують до максимуму відбір пари від теплофікаційної турбіни, знижують електричну потужність за рахунок розвантаження або відключення турбогенератора низько киплячої речовини. При цьому збільшені витрати пари з теплофікаційного відбору турбіни подають на мережний підігрівач, де прокачується мережна вода тепломережі, частину якої подають в акумулятор мережної води.

В режимі покриття пікового електричного навантаження частково або повністю відключають теплофікаційний відбір і збільшують електричну потужність турбіни. Випарник підключають до акумулятора мережної води. Низько киплячу речовину після підігріву в підігрівачу конденсатора теплофікаційної турбіни прокачують через випарник, після чого вона розширюється в турбогенераторі низько киплячої речовини, виробляючи електроенергію, а потім конденсується в конденсаторі. Теплове навантаження при цьому частково або повністю покривається акумулятором мережної води.

Перевагою даної енергетичної установки є можливість регулювання електричного і теплового навантажень, що робить дану установку достатньо маневреною.

Проте в цій енергетичній установці для ефективного регулювання мають бути значні габарити акумулятора мережної води.

Крім того, в усіх описаних енергетичних установках суттєвими є втрати потужності, габарити і матеріалоємність обладнання, а відтак і територія, яку воно займає що пов'язано з використанням електротехнічного обладнання на основі традиційних струмопровідних матеріалів, наприклад, міді. Це обладнання працює при значних теплових навантаженнях, що спричиняє підвищене зношення, наприклад, електроізоляційних матеріалів особливо у режимах короткого замикання, і потребує спеціального охолодження, наприклад, воднем для турбогенератора.

Задачею винаходу є суттєве зниження втрат потужності, теплових навантажень, габаритів і матеріалоємності електротехнічного обладнання, а також розширення діапазону маневреності енергетичної установки.

Задача, що поставлена, вирішується за рахунок того, що у відомій комбінованій енергетичній установці, яка містить теплофікаційну турбіну, яка обертає турбогенератор, мережний підігрівач з прямою і зворотною магістралями мережної води, конденсатор, на який подається відпрацьована пара турбіни, охолоджуваний циркуляційним теплоносієм, тепловий акумулятор і контур низько киплячої речовини, у відповідності з винаходом, що заявляється, в якості низько киплячої речовини використовується криогенний холодоагент, до виконаного надпровідниковим турбогенератора електрично підключені надпровідникові мережний трансформатор з обмежувачем струму короткого замикання, надпровідниковий індуктивний накопичувач через перетворювач струму з режимами роботи «випрямлення / інвертування», який перемикається за сигналом датчика потужності електричної мережі, надпровідникові трансформатор власних потреб з обмежувачем струму короткого замикання, до яких через шину власних потреб підключені електропривод вакуумних насосів енергетичної установки і електропривод криогенного зріджувача енергетичної установки, при цьому електричні з'єднання між вказаними (згаданими) надпровідниковими електротехнічними пристроями виконані за допомогою надпровідникового кабелю, а температура криогенного холодоагенту нижче критичної температури надпровідникового

матеріалу струмоведучих елементів надпровідникових електротехнічних пристроїв, причому електропривод вакуумної системи підключений до насоса, що живить вакуумний колектор, до якого приєднані надпровідникові електротехнічні і криогенні пристрої, а з криогенним зріджувачем через кріотрубопровід з'єднаний криогенний колектор, до якого підключені надпровідникові електротехнічні пристрої, ділянка вказаного кріотрубопроводу з запірним вентилям постачена паралельною криогенною магістраллю, в якій розміщено тепловий акумулятор холоду, виконаний у вигляді постаченого вхідним і вихідним вентилями кріостата з рідким криогенним холодоагентом, в контурі циркуляційного теплоносія перед конденсатором встановлено теплообмінник, до якого підключено вихід колектора газоподібного холодоагенту, на виході якого надходить газоподібний холодоагент із надпровідникових електротехнічних пристроїв з температурою нижче, ніж у циркуляційного теплоносія.

Крім того, струмоведучі елементи надпровідникових електротехнічних пристроїв виконані з високотемпературних надпровідникових матеріалів, критична температура яких нижче температури кипіння криогенного холодоагенту, в якості якого використовується рідкий азот.

Крім того, вихід газоподібного криогенного холодоагенту з теплообмінника з'єднаний з газольдером, до виходу якого підключений компресор, що стискає газ у балолах високого тиску, вихід з яких з'єднаний з входом криогенного зріджувача і з газоподібним входом кріостата.

Крім того, електропривод вакуумної системи виконаний надпровідниковим.

Крім того, електропривод криогенного зріджувача виконаний надпровідниковим.

Крім того, електропривод компресора виконаний надпровідниковим.

Крім того, шина власних потреб енергетичної установки виконана над-провідниковою.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що у відомому способі роботи комбінованої енергетичної установки в маневреному режимі, при якому в період зниження електричного і теплового навантажень зменшують потужність турбогенератора, який видає електричну енергію в мережу, за рахунок збільшення до максимуму відбору пари від теплофікаційної турбіни, що його обертає, відібрану пару подають на мережний підігрівач, де прокачується вода тепломережі, і теплову енергію накопичують в тепловому акумуляторі, а в режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність турбогенератора за рахунок часткового або повного відключення теплофікаційного відбору, а накопичену теплову енергію видають з акумулятора, у відповідності з винаходом, що заявляється, в період зниження електричного навантаження збільшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом запуску електроприводів вакуумних насосів установки, забезпечуючи накопичення вакууму для надпровідникових і криогенних пристроїв, криогенного зріджувача, забезпечуючи накопичення теплової енергії у вигляді

рідкого криогенного холодоагенту у виконаному у вигляді криостата тепловому акумуляторі, і компресора, забезпечуючи накопичення відпрацьованого криогенного холодоагенту у вигляді стиснутого газу в балонах високого тиску, переводять перетворювач струму в режим «випрямлення» і накопичують електромагнітну енергію в індуктивному накопичувачі енергії, а в режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність теплофікаційної турбіни шляхом пониження тиску на виході за рахунок зниження температури циркуляційного теплоносія на вході в конденсатор при пропусканні його через теплообмінник, через який проходить криогенний холодоагент з колектора газоподібного холодоагенту в газгольдер, зменшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом відключення електроприводів вакуумних насосів установки, криогенного зріджувача і компресора, переводять перетворювач струму в режим «інвертування», видаючи електромагнітну енергію з індуктивного накопичувача енергії в мережу, і випускають рідкий криогенний холодоагент з криостату в криогенний колектор шляхом подачі газоподібного холодоагенту в криостат з балонів високого тиску.

У технічному рішенні, що пропонується, основний ефект по зниженню втрат потужності, теплових навантажень і габаритів електротехнічного обладнання електротеплоакумуляуючої енергетичної установки досягається за рахунок комплексного використання електротехнічного обладнання, виконаного на основі надпровідників, на обмеженій території з повним використанням накопиченої теплової енергії у вигляді криогенного холодоагенту.

На даний час розроблені, використані і знаходяться на стадії практичної реалізації надпровідникові турбогенератори, трансформатори, об'єктувачі струму короткого замикання, індуктивні накопичувачі енергії, електроприводи і лінії електропередач [4]. У найближчий час постане питання їх практичного використання, в тому числі в енергетичних установках. У винаході, що пропонується, передбачається комплексне і взаємопов'язане використання надпровідникового електротехнічного обладнання, і необхідного для їх функціонування допоміжного обладнання (криогенного і вакуумного) у межах території енергетичної установки. Усі близько розташовані надпровідникові електротехнічні пристрої в енергетичній установці електрично з'єднані за допомогою надпровідникових кабелів, які доцільно виготовляти невеликої довжини, що радикально знижує втрати потужності і підвищує ефективність всієї установки.

В енергетичній установці, що пропонується, можуть бути виконані єдиний криогенний зріджувач, криостат з рідким холодоагентом (акумулятор холодної енергії) і криогенний колектор; єдиний вакуумний насос і вакуумний колектор; єдиний колектор газоподібного холодоагенту, газгольдер і компресор, що закачує відпрацьований газ в балони високого тиску. В такому варіанті криогенний холодоагент, змінюючи температуру від кімнатної до криогенної і стан від газоподібного до рідкого,

циркулює в замкнутій системі, що дозволяє виключити викиди в атмосферу, покращує екологічні умови установки і дозволяє розташовувати її поблизу населених пунктів.

Використання в якості низько киплячої речовини криогенного холодоагенту дозволяє ефективно функціонувати надпровідниковому електротехнічному обладнанню без втрат з високими питомими навантаженнями при єдиному температурному режимі. Якщо струмоведучі елементи надпровідникових електротехнічних пристроїв виконані з високотемпературних надпровідникових матеріалів, то в якості криогенного холодоагенту може бути використаний рідкий азот, безпечний, вибухобезпечний і дешевий холодоагент, гарний ізолятор, який легко одержують з повітря. Використання азоту в якості низькокиплячого холодоагенту підвищує пожежну і вибухову безпеку на енергетичній установці.

У винаході, що пропонується, в період зниження електричного і теплового навантажень збільшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом запуску електроприводів вакуумних насосів установки, криогенного зріджувача і компресора, переводять перетворювач струму в режим «випрямлення» і накопичують електромагнітну енергію в індуктивному накопичувачі. Це дозволяє практично мало знижувати потужність теплофікаційної турбіни і турбогенератора в період зниження електричного і теплового навантажень, що суттєво підвищує їх надійність і стійкість роботи. Отже, фактично в цей період відбувається накопичення електричної, теплової енергії в криостаті, вакуумної енергії і енергії стиснутого газу.

А в режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність теплофікаційної турбіни, зменшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки шляхом зупинки електроприводів вакуумних насосів установки, криогенного зріджувача і компресора, переводять перетворювач струму в режим «інвертування», видаючи електромагнітну енергію з індуктивного накопичувача в мережу, і випускають рідкий криогенний холодоагент з криостата в криогенний колектор шляхом подачі газоподібного холодоагенту в криостат з балонів високого тиску. Фактично в цей період відбувається віддача накопиченої електричної енергії, теплової енергії в криостаті, вакуумної енергії і енергії стиснутого газу.

При цьому механічна потужність, яка передається від турбіни до генератора, також підвищується, оскільки використовується ефект зниження остаточного тиску в конденсаторі турбіни при зниженні температури циркуляційного теплоносія, а при зниженні тиску на вихлопі циліндра низького тиску підвищується потужність, яка передається від турбіни до генератора.

Внаслідок цього межі маневрування електричного навантаження енергетичної установки можуть бути розширені. Крім того, маневрування електричного навантаження підвищується за рахунок акумуляування теплової енергії (у вигляді зрідженої криогенної рідини в криостаті), енергії, витраченої на створення вакууму, і електричної енергії, аку-

мульованої у надпровідниковому індуктивному накопичувачі енергії в період зниження споживання електричної енергії, які видаються в період пікового споживання електроенергії.

На рис. наведена схема надпровідникової електротеплоакумулюючої енергетичної установки.

Надпровідникова електротеплоакумулююча енергетична установка містить теплофікаційну турбіну 1, на яку надходить нагріта (гостра) пара 2 з парового котла 3. Турбіна 1 забезпечує обертання надпровідникового турбогенератора 4, який виробляє електричну енергію, основна частина якої через мережний надпровідниковий трансформатор 5 і мережний надпровідниковий обмежувач струму короткого замикання 6 надходить в енергосистему. Частина виробленої електроенергії через надпровідниковий трансформатор 7 власних потреб і надпровідниковий обмежувач струму короткого замикання власних потреб 8 надходить на електроживлення шини власних потреб 9.

Крім трансформаторів 5 і 7 до виходу турбогенератора 4 через перетворювач струму 10 підключений надпровідниковий індуктивний накопичувач енергії 11. До блока керування 12 перетворювача струму 10 через сигнальний вихід 13 підключений датчик потужності електричної мережі 14.

Тепла пара 15 з теплофікаційної турбіни 1 надходить на мережний підігрівач 16, який нагріває мережний теплоносіє - воду 17. Циркуляція мережної води 17 здійснюється за допомогою мережного насоса 18 при відкритому вентилі 19 від колектора зворотної мережної води 20 до колектора прямої мережної води 21.

Відпрацьована пара 22 на вихлопі циліндра низького тиску теплофікаційної турбіни 1 надходить в конденсатор 23. Охолодження конденсатора 23 здійснюється циркуляційним теплоносієм - водою 24, яка під дією насоса 25 послідовно проходить через градирню 26, басейн-охолоджувач 27 і теплообмінник 28, який встановлено на входе конденсатора 23.

До шини власних потреб 9 через вимикач 29 підключений електропривод 30 вакуумних насосів 31 енергетичної установки, через вимикач 32 підключений електропривод 33 криогенного зріджувача 34 енергетичної установки, а через вимикач 35 підключений електропривод 36 компресора 37.

Шина власних потреб 9 і електроприводи 30, 33 і 36 виконані надпровідниковими.

Електричні з'єднання між відповідними надпровідниковими електротехнічними пристроями: турбогенератором 4, мережним трансформатором 5, мережним обмежувачем струму короткого замикання 6, трансформатором власних потреб 7, обмежувачем струму короткого замикання власних потреб 8, індуктивним накопичувачем енергії 11, шиною власних потреб 9 і електроприводами 30, 33 і 36 виконані за допомогою надпровідникового кабелю 38 (на фіг. показаний жирною лінією).

В якості низько киплячої речовини використовується криогенний холодоагент, температура якого нижче критичної температури надпровідникового матеріалу струмоведучих елементів надпровідникових електротехнічних пристроїв.

Струмоведучі елементи надпровідникових електротехнічних пристроїв виконані з високотемпературних надпровідникових матеріалів [4], критична температура яких нижче температури кипіння криогенного холодоагенту, в якості якого використовується рідкий азот.

Вакуумний насос 31 через вакуумний трубопровід 39 підключений до вакуумного колектора 40 енергетичної установки, до якого підключені всі надпровідникові електротехнічні і криогенні пристрої.

З криогенним зріджувачем 34 через кріотрубопровід 41 з'єднаний криогенний колектор 42, до якого підключені надпровідникові електротехнічні пристрої. Ділянка кріотрубопроводу 41 з запірним вентилем 43 постачений паралельною криогенною магістраллю, в якій розміщений тепловий акумулятор холоду, виконаний у вигляді кріостата 44 з рідким криогенним холодоагентом. Кріостат 44 постачений вхідним 45 і вихідним 46 вентилями.

До теплообмінника 28 підключений вихід колектора газоподібного холодоагенту 47, на входи якого надходить газоподібний холодоагент з надпровідникових електротехнічних пристроїв з температурою нижче, ніж у циркуляційного теплоносія 24.

Вихід 48 газоподібного криогенного холодоагенту з теплообмінника 28 з'єднаний з газгольдером 49, до виходу якого підключений компресор 37, стискаючий газ в балонах високого тиску 50, вихід з яких 51 з'єднаний з криогенним зріджувачем 34 і з кріостатом 44.

Надпровідникова електротеплоакумулююча енергетична установка для функціонування має вентилі 52-55.

Спосіб роботи надпровідникової електротеплоакумулюючої енергетичної установки здійснюється наступним чином.

У вихідному стані при надходженні нагрітої (гострої) пари 2 з парового котла 3 теплофікаційна турбіна 1 забезпечує обертання надпровідникового турбогенератора 4, який виробляє електричну енергію, і подачу теплої пари 15 на мережний підігрівач 16, який нагріває мережний теплоносіє 17.

Основна частина електричної енергії через мережний надпровідниковий трансформатор 5 і мережний надпровідниковий обмежувач струму короткого замикання 6 надходить в енергосистему. Частина виробленої електроенергії через надпровідниковий трансформатор власних потреб 7 і надпровідниковий обмежувач струму короткого замикання власних потреб 8 надходить на електроживлення шини власних потреб 9.

Циркуляція мережної води 17 від колектора зворотної мережної води 20 здійснюється за допомогою мережного насоса 18, причому, проходячи через мережний підігрівач 16, відбувається її нагрів і надходження до колектора прямої мережної води 21.

Відпрацьована пара 22, виходячи з циліндра низького тиску теплофікаційної турбіни 1, надходить в конденсатор 23, де відбувається її охолодження циркуляційним теплоносієм 24. Циркуляція цього теплоносія 24 здійснюється за допомогою насоса 25. Нагрітий теплоносіє 24 охолоджується,

послідовно проходячи через градирню 26, басейн-охолоджувач 27 і теплообмінник 28, який встановлено на вході конденсатора 23.

В період зниження електричного навантаження зменшують потужність турбогенератора 4, який видає електричну енергію в мережу за рахунок збільшення до максимуму відбору пари 15 від теплофікаційної турбіни 1. При цьому збільшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки. Для цього до шини власних потреб 9 через вимикач 29 підключають електропривод 30 вакуумних насосів 31 енергетичної установки, через вимикач 32 підключають електропривод 33 криогенного зріджувача 34 енергетичної установки, а через вимикач 35 підключають електропривод 36 компресора 37.

Вакуумні насоси 31 через вакуумний трубопровід 39 забезпечують накопичення вакууму (створюють глибокий вакуум) у вакуумному колекторі 40 енергетичної установки, а відтак і в усіх надпровідникових електротехнічних і криогенних пристроях.

При цьому вентиль 55 закритий і вентиль 53 відкритий. Газоподібний холодоагент з температурою навколишнього середовища з газгольдера 49 за допомогою компресора 37 закачується і стискується в балони високого тиску 50. Частина стиснутого газу з балонів 50 надходить в криогенний зріджувач 34.

Криогенний зріджувач 34 переводить криогенний холодоагент у рідкий стан з мінімальної температури. При цьому вентилі 46 і 52 закриті, а вентилі 45 і 54 відкриті і рідкий холодоагент накопичується у криостаті 44. Частина рідкого холодоагенту через кріотрубопровід 41 і відкритий вентиль 43 надходить у криогенний колектор 42, а з нього у надпровідникові електротехнічні пристрої.

У цей самий період від датчика потужності електричної мережі 14 через сигнальний вихід 13 на блок керування 12 надходить сигнал про зниження електричного навантаження мережі. При надходженні такого сигналу перетворювач струму 10 переводять у режим «випрямлення». Змінний струм турбогенератора 4 випрямляється і надходить на надпровідниковий індуктивний накопичувач енергії 11, в якому накопичується у вигляді енергії магнітного поля.

В режимі покриття пікового електричного навантаження збільшують потужність турбогенератора 4 за рахунок часткового або повного відключення відбору пари 15 від теплофікаційної турбіни 1. При цьому збільшують потужність теплофікаційної турбіни і суттєво зменшують споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки.

Зменшення споживання електричної енергії на власні потреби енергетичної установки здійснюється шляхом зупинки електроприводів вакуумних насосів установки, криогенного зріджувача і компресора. Для цього від шини власних потреб 9:

- за допомогою вимикача 29 відключають електропривод 30 вакуумних насосів 31 енергетичної установки;

- за допомогою вимикача 32 відключають електропривод 33 криогенного зріджувача 34 енергетичної установки;

- за допомогою вимикача 35 відключають електропривод 36 компресора 37.

Вентилі 43, 45 і 54 закриті, а вентилі 52 і 46 відкриті. При цьому стиснутий газ із балонів 50 надходить у криостат 44, створюючи в ньому надлишковий тиск, під дією якого рідкий криогенний холодоагент виходить з криостата, надходячи через кріотрубопровід 41 і відкритий вентиль 46 в криогенний колектор 42, а з нього у надпровідникові електротехнічні пристрої.

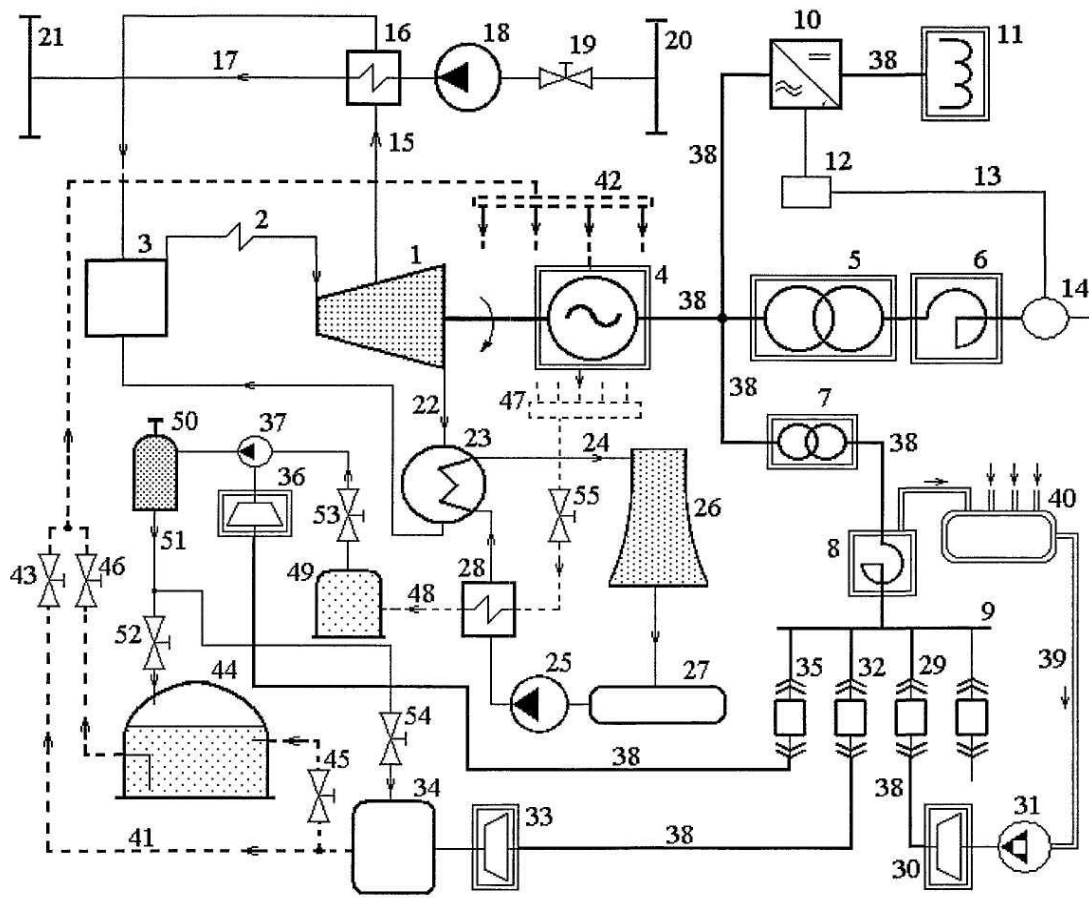
Крім того, в цей період збільшують потужність теплофікаційної турбіни 1 шляхом зниження тиску відпрацьованої пари 22 на виході циліндра низького тиску теплофікаційної турбіни 1 за рахунок зниження температури циркуляційного теплоносія 24 на вході в конденсатор 23. Для цього відкривають вентиль 55 і газоподібний холодоагент з колектора газоподібного холодоагенту 47 з температурою нижче, ніж у циркуляційного теплоносія 24 надходить на теплообмінник 28, де нагріваючись, охолоджує теплоносієм 24. Вентиль 53 закритий і газоподібний холодоагент надходить у газгольдер 49, де і накопичується.

При цьому від датчика потужності електричної мережі 14 через сигнальний вихід 13 на блок керування 12 надходить сигнал про підвищення електричне навантаження мережі. Перетворювач струму 10 переводять у режим «інвертування». Енергія, що накопичена у вигляді магнітного поля в надпровідниковому індуктивному накопичувачі 11, за допомогою перетворювача 10 перетворюється з постійного в змінний струм і надходить у мережу.

Таким чином, надпровідникова електротеплоакумуляуюча енергетична установка, що пропонується, у порівнянні з відомим характеризується підвищеним ККД через зменшення втрат (втрати в надпровідниковому струмоведучому елементі практично відсутні), зменшеними габаритами і займаною територією, підвищеною надійністю електротехнічних пристроїв через зниження теплових навантажень (всі надпровідникові електротехнічні пристрої знаходяться при одній і тій же температурі криогенного холодоагенту), підвищеною стійкістю до струмів короткого замикання і розширенням діапазону маневрування електричного навантаження, що віддається у мережу.

Джерело інформації

1. А.с. СССР № 596726, МКИ F01K13/02.
2. А.с. СССР № 1298409, МКИ F01K17/02.
3. А.с. СССР № 1151695 МКИ F01K23/10 (прототип).
4. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. - June 2008. - Vol. 18. - № 2.-1666 p.



Фіг.